Québec

Note de recherche forestière n° 111

PLANTEC : un logiciel pour gérer la fertilisation des plants dans les pépinières forestières

D. GIRARD[1], J. GAGNON[1] ET C.-G. LANGLOIS[2]

F.D.C. 232.3(047.3)(714)
L.C. SD 408

Résumé

PLANTEC est un logiciel pour gérer la fertilisation des cultures en récipients et à racines nues produites dans les pépinières forestières. Il permet aux pépiniéristes d'appliquer, sur une base opérationnelle, l'approche de nutrition minérale des plants forestiers conçue au Québec et qui consiste à fertiliser les cultures en fonction de leurs besoins en nutriments [azote (N), phosphore (P), potassium (K)]. À l'aide de PLANTEC, le pépiniériste peut modéliser l'évolution saisonnière de chaque type de culture, afin d'évaluer leurs besoins hebdomadaires en nutriments (N, P, K) et bâtir un calendrier de fertilisations spécifique à chaque lot. Pour appliquer les fertilisations, PLANTEC propose le produit commercial le mieux formulé à chaque application. Il indique ensuite comment préparer les solutions en fonction des doses calculées, de la superficie à traiter et des pulvérisateurs utilisés. PLANTEC garde en mémoire les traitements effectués. Durant la saison, PLANTEC permet aussi de corriger les calendriers de fertilisations en prenant en compte le suivi de la croissance et les concentrations en minéraux dans les plants et les substrats (sols). Au terme de la saison, il est possible d'obtenir un bilan nutritionnel des cultures ayant fait l'objet d'un suivi. PLANTEC est utilisé depuis 1992 dans les pépinières publiques du Québec (ministère des Ressources naturelles : MRN) et par les chercheurs de l'équipe de R-D en production de plants de la Direction de la recherche forestière (DRF) du MRN. Il est aussi disponible en version anglaise.

Mots clés : pépinière, plants à racines nues, plants en récipients, résineux, feuillus, nutrition minérale, fertilisants, croissance, informatique, modèle de simulation, récipients, système informatique.

Abstract

PLANTEC : a software to manage the fertilization of seedlings in forest tree nurseries. *PLANTEC is a software developed to manage the fertilization of containerized and bareroot seedlings grown in forest tree nurseries. It permits to the nurseryman to use on an operational basis the approach of mineral nutrition used in Québec, which consists to fertilize forest tree seedlings in function of their needs in nutrients [nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K)]. With PLANTEC, the grower is able to determine the evolution of the seasonal growth for each seedling production in order to evaluate their weekly growth requirements in nutrients (N, P, K) and to define a fertilization schedule specific to each seedling stock. PLANTEC selects the best formulation of commercial soluble fertilizer for each application required. Then, it determines how to prepare the solutions in function of the calculated doses, the area to be treated and the spray systems to be used. PLANTEC keeps in memory the treatments carried out. During the season, PLANTEC also permits to revise the fertilization schedules in function of the periodic measurements carried out for seedling growth, nutrient concentrations in seedling tissues and substrates (soils). At the end of the growing season, it provides a nutritional status for each seedling stock that was monitored. PLANTEC is used since 1992 in the government nurseries (ministère des Ressources naturelles : MRN) and by researchers of the Direction de la recherche forestière (DRF) of the MRN working on the production of forest tree seedlings in nursery. It is also available in english.*

Keywords : nursery, bareroot stock, container-grown seedlings, conifers, hardwoods, mineral nutrition, fertilizers, growth, computer techniques, model of simulation, containers, computerized system.

[1] Direction de la recherche forestière, **Forêt Québec**.
[2] Direction de la production des semences et des plants (DPSP), **Forêt Québec**, ministère des Ressources naturelles (MRN), 880, chemin Sainte-Foy, Québec (Québec), G1S 4X4.

Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec) G1P 3W8 Canada

Téléphone : (418) 643-7994
Télécopieur : (418) 643-2165
Courriel : rech.for@mrn.gouv.qc.ca

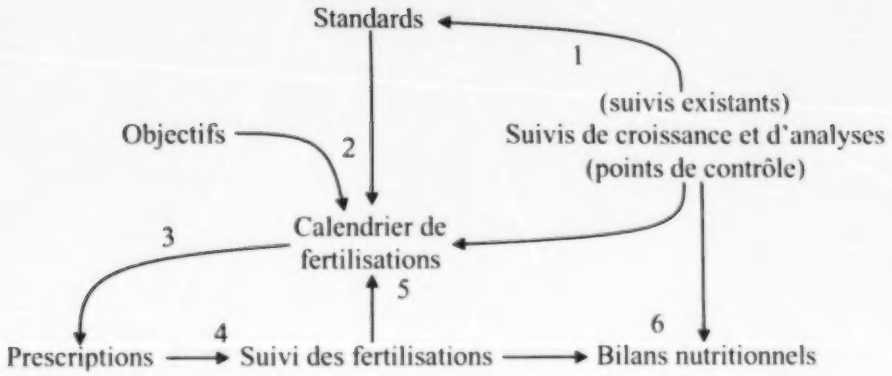

Figure 1. Le fonctionnement de PLANTEC : des suivis existants sont utilisés pour établir les standards (1). Les standards sont ajustés en fonction des objectifs de croissance pour construire des calendriers de fertilisations (2). Les calendriers alimentent une fonction qui guide la préparation et l'application des solutions fertilisantes (3). Les fertilisations réalisées sont mémorisées (4). Les suivis (points de contrôles) et les fertilisations mémorisées servent à la révision périodique des calendriers (5) et au calcul des bilans nutritionnels (6).

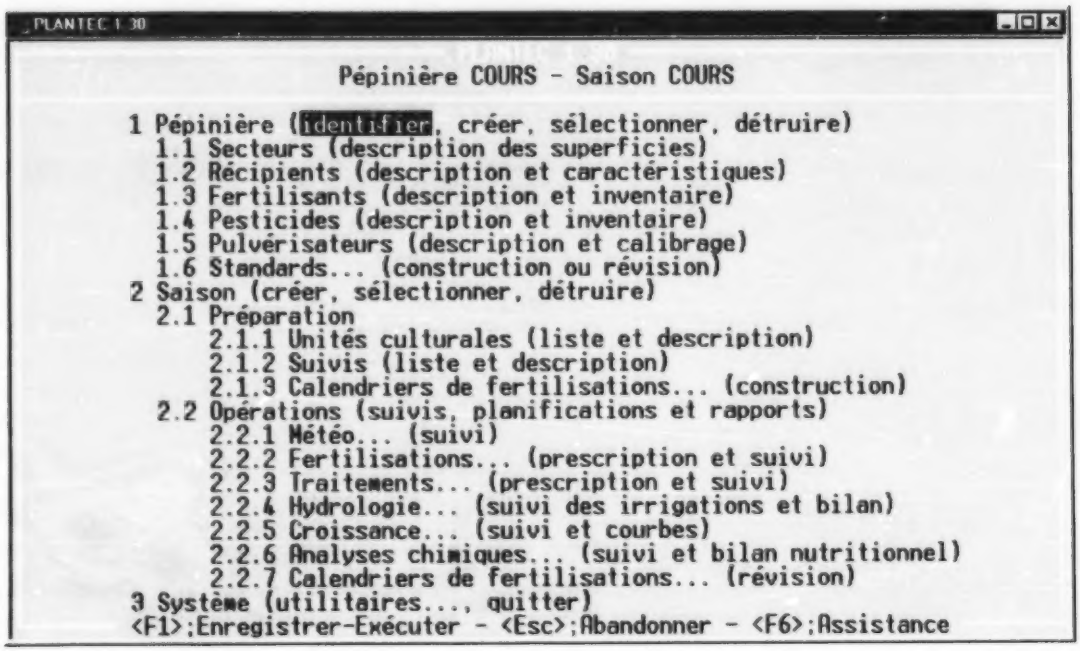

Figure 2. Écran principal de PLANTEC.

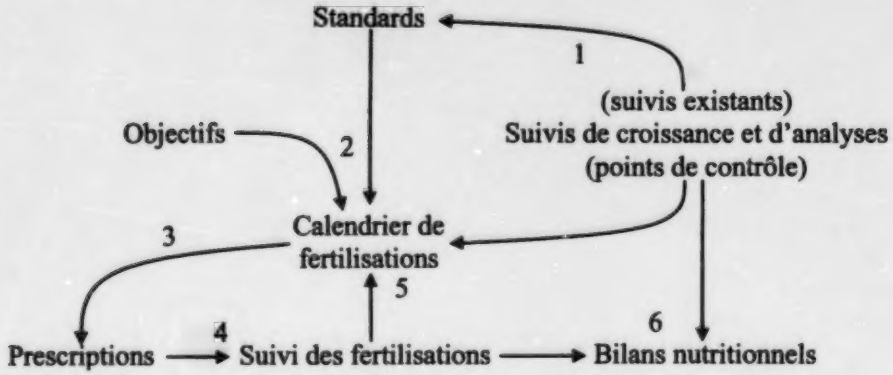

Figure 1. Le fonctionnement de PLANTEC : des suivis existants sont utilisés pour établir les standards (1). Les standards sont ajustés en fonction des objectifs de croissance pour construire des calendriers de fertilisations (2). Les calendriers alimentent une fonction qui guide la préparation et l'application des solutions fertilisantes (3). Les fertilisations réalisées sont mémorisées (4). Les suivis (points de contrôles) et les fertilisations mémorisées servent à la révision périodique des calendriers (5) et au calcul des bilans nutritionnels (6).

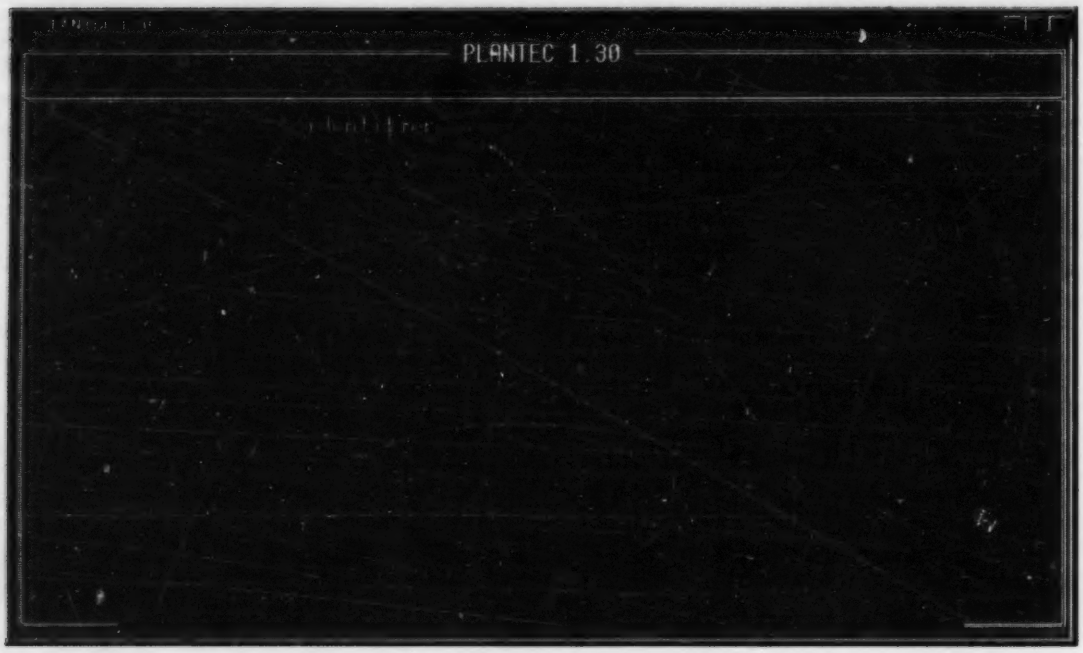

Figure 2. Écran principal de PLANTEC.

Introduction

La gestion de la nutrition minérale des plants forestiers représente un défi pour le pépiniériste car il doit élaborer des calendriers de fertilisations en fonction de l'espèce, de l'âge et du type de culture (en récipients ou à racines nues). En outre, il doit aussi respecter les différentes normes et critères de qualité propres à chaque culture, tout en minimisant l'impact environnemental des engrais qu'il applique. Seule une fertilisation adéquate des plants forestiers peut permettre d'atteindre ces objectifs tout en assurant un développement normal des cultures. Il importe donc au pépiniériste de savoir non seulement quelle est la quantité globale d'engrais à appliquer mais aussi comment la répartir dans le temps.

Bien que nous ayons recensé plusieurs logiciels conçus pour aider le pépiniériste dans son travail, notamment ceux relatifs au calcul des quantités de fertilisants à ajouter (WENNY 1989), à la libération des minéraux des engrais à dégagement lent (JARRELL 1989) et à la préparation des solutions fertilisantes (HARRINGTON et GLASS 1998, VAN STEENIS 1997), aucun de ces outils informatiques ne prend en compte l'ensemble des opérations liées à la fertilisation.

L'équipe de recherche en production de plants de la Direction de la recherche forestière du MRN a conçu une approche qui englobe les principaux aspects de la gestion de la nutrition minérale (LANGLOIS 1983, LANGLOIS et GAGNON 1993). Le principe de base consiste à fertiliser les plants en fonction de leurs besoins hebdomadaires en nutriments [azote (N), phosphore (P), potassium (K)], ce qui fait appel à de nombreux calculs. Le logiciel PLANTEC (GIRARD *et al.* 1995) a donc été développé pour permettre au pépiniériste d'utiliser cette approche dans un contexte de production.

À notre connaissance, PLANTEC est actuellement le seul système disponible qui intègre une approche de nutrition minérale des plants forestiers aussi complète. Il évalue leurs besoins nutritifs et facilite l'analyse de l'effet des fertilisations sur la croissance afin que le pépiniériste prenne des décisions éclairées. Il peut également assurer le suivi des données météo, des irrigations et des épandages de pesticides. Ce logiciel rassemble et gère un grand nombre d'informations pertinentes sur les cultures. Nous ne traiterons ici que des aspects reliés à la fertilisation.

Analyse et méthodes

Les caractéristiques informatiques

PLANTEC s'exécute en mode DOS avec Windows. Il supporte différentes configurations et l'utilisation en réseau. Il est entièrement manipulé à l'aide de menus. Les entrées-sorties se font à l'écran, à l'aide de formulaires, de tableaux et de graphiques simples à utiliser. L'usager dispose de deux outils : 1) des écrans d'assistance qui expliquent l'utilisation de chaque fonction, 2) un guide de formation qui décrit, à l'aide d'exemples, les différentes étapes de la gestion des fertilisations.

PLANTEC a été développé à l'aide du langage APL*PLUS/PC (STSC inc. 1989). Pour mémoriser les données, PLANTEC utilise les fichiers Dbase III+ (Ashton-Tate Corp. 1986). Ses fichiers sont donc directement accessibles à d'autres logiciels, notamment Excel (Microsoft Corp.). L'usager est ainsi en mesure de traiter les données de PLANTEC selon ses besoins.

Les principes de base

PLANTEC évalue les besoins hebdomadaires du plant en N, P et K à partir des courbes d'évolution saisonnière des masses anhydres totales, des concentrations tissulaires et des fertilités des substrats ou sols. Il utilise le milligramme par plant (mg/plant) comme unité de référence. La figure 1 schématise le fonctionnement de PLANTEC.

Les caractéristiques techniques

Pour permettre au pépiniériste d'appliquer intégralement l'approche nutritionnelle préconisée dans un contexte de production, PLANTEC est capable de gérer simultanément jusqu'à 500 lots et 100 calendriers de fertilisations. L'architecture du système et sa présentation sous forme de tables des matières proposent une utilisation méthodique de ses fonctions. La figure 2 présente l'écran principal de PLANTEC. Pour retracer facilement toutes les informations relatives à une culture, les données sont classées par lot, tout en étant accessibles au moyen d'autres paramètres (localisation, date,...). Le pépiniériste a la possibilité de définir les variables spécifiques à ses productions (caractéristiques des récipients, formulation des fertilisants, paramètres des pulvérisateurs, densité et fertilité du substrat ou du sol,...). PLANTEC est donc applicable à tout type de cultures en récipients ou à racines nues. Les fonctions de suivis de cultures sont inspirées de celles éprouvées dans le système SYSPAC (GIRARD et LANGLOIS 1989) et emploient des méthodes de

calculs adaptées à ce genre d'application (SOKAL et RHOLF 1969), notamment en ce qui concerne l'échantillonnage quotient (COCHRAN 1967). Les standards sont mémorisés sous forme de régressions. Ces dernières peuvent être définies à l'aide d'une fonction d'ajustement de courbes de PLANTEC, qui utilise les suivis mémorisés dans les bases de données du système. Les limites à l'intérieur desquelles les régressions sont valables sont mémorisées. PLANTEC n'en conserve que le profil, à l'intérieur des échelles de chaque culture, dans le but de pouvoir utiliser sans risque les régressions quand les longueurs de saisons diffèrent. PLANTEC produit les graphiques pertinents pour visualiser les données de chaque étape (ajustements de courbes, comparaisons entre les suivis et les standards).

Présentation et fonctionnement

L' établissement des standards de productions

La fiabilité d'un calendrier de fertilisations est directement liée à la justesse du standard de production utilisé. Les régressions indispensables à la construction de calendriers sont celles de la masse anhydre totale, des concentrations tissulaires dans le plant entier et des fertilités en N, P et K dans les substrats ou sols. Les standards contiennent également les valeurs ciblées en début et fin de saison pour les concentrations tissulaires, les fertilités et les taux (%) d'utilisation des éléments appliqués ([mg absorbé/mg appliqué] x 100) pour N, P et K. Par défaut, les pourcentages d'utilisation des fertilisants appliqués évoluent linéairement entre les valeurs définies. Il est toutefois possible de les définir par régression afin, par exemple, d'augmenter les fertilisations lorsque le système racinaire est encore peu développé et que le plant ne peut absorber les minéraux avant qu'ils ne soient lessivés. Deux variables limitent chaque application : 1) ppm (parties par million) de N maximum ainsi que 2) ppm maximum total de N, P et K (pour la salinité). D'autres régressions (facultatives pour la production des calendriers) sont utilisées pour comparer graphiquement les suivis aux courbes standards, estimer le lessivage ou la masse anhydre totale en fonction de la hauteur, du diamètre au collet et des jours de croissance. Selon le contexte, certaines régressions peuvent être nécessaires, par exemple pour établir les relations entre la concentration dans le plant entier (nécessaire pour la révision des calendriers) en fonction du nombre de jours de croissance et de la concentration foliaire (si cette mesure est la seule disponible).

La définition des objectifs de production

Au début de chaque saison, il faut donner à PLANTEC la liste de tous les lots qu'il devra traiter ainsi que leurs caractéristiques. Cette liste contient les superficies à traiter et le nom du calendrier à appliquer pour chaque lot. Dans un contexte de production, il n'est pas nécessaire de faire un suivi détaillé de tous les lots. Une sélection de certains lots est suffisante pour représenter un groupe de même nature et lui attitrer un seul calendrier de fertilisations. La liste des suivis contient les variables nécessaires au calcul des calendriers ; les objectifs de production de masse anhydre totale, les dates de début et de fin de la période de croissance, la date du début de la période d'aoûtement et celles permettant les conversions d'unités. Les conversions entre les kilogrammes à l'hectare (kg/ha) et mg/plant sont faites avec la densité réelle des plants (plants/m^2) et le pourcentage d'efficacité des arrosages (% de l'eau distribuée au-dessus du récipient qui atteint effectivement le substrat). Le volume de substrat au mètre carré (cm^3/m^2) et la densité du substrat (g/cm^3) permettent de convertir les ppm en mg/plant.

L'élaboration des calendriers de fertilisations

Lors de l'élaboration d'un calendrier, il faut donner à PLANTEC les informations suivantes : 1) la date de début des fertilisations et le nombre de jours entre les fertilisations qui servent à planifier les fertilisations dans le temps et 2) les fertilités initiales en N, P et K qui permettent d'ajuster la fertilité au niveau exigé au début de la croissance des plants. Le détail du calcul des besoins nutritifs des plants apparaissent dans le calendrier. Pour chaque application, les régressions des standards servent à évaluer les valeurs de masse anhydre totale, de concentrations tissulaires et de fertilités en N, P et K. Ces valeurs sont modifiables manuellement dans le calendrier. Les contenus tissulaires sont calculés en multipliant les masses anhydres par les concentrations tissulaires. Les besoins du plant sont obtenus par accroissement des contenus puis divisés par les pourcentages d'utilisation. À ce résultat s'ajoutent les besoins pour ajuster la fertilité, ce qui permet d'obtenir les besoins totaux en N, P et K. En comparant leurs proportions en N, P et K avec un tableau contenant la formulation des fertilisants, PLANTEC choisit le fertilisant approprié et calcule la dose pour appliquer 100 % des besoins en N. Les applications recommandées prennent en compte

les doses et salinités permises par le standard, ainsi que de la période d'aoûtement.

Le tableau 1 présente les colonnes principales d'un calendrier de fertilisations produit par PLANTEC, pour la première des deux années de culture d'un lot d'épinette noire, produit dans un récipient à parois ajourées de 350 cm^3 (densité de 190 plants/m^2, efficacité d'arrosage de 95,4 %, densité de substrat de 0,10 g/cm^3). La figure 3 qui l'accompagne, illustre le détail des calculs pour la fertilisation du 14 septembre, avec une vue sur l'ensemble de la saison.

La préparation et le suivi des fertilisations

La fonction de prescription des fertilisations calcule les recettes pour la préparation des solutions fertilisantes de chaque application en fonction des doses, des superficies à traiter et des pulvérisateurs (LANGLOIS 1983). Les doses et la liste des lots à traiter peuvent être saisies manuellement ou automatiquement, grâce à une fonction faisant appel aux calendriers de fertilisations. Un tableau contenant la description et les paramètres des pulvérisateurs fournit le débit auquel la solution est appliquée. Ainsi, en fonction de chaque groupe de lots à traiter, PLANTEC peut calculer les quantités totales de fertilisants à diluer dans les volumes d'eau nécessaires, selon le type d'appareil utilisé (tracteurs, rampes mobiles, injecteurs,...). Une fois les applications effectuées, les doses appliquées sont reportées dans le suivi des fertilisations de chaque lot.

Les suivis de croissance et d'analyses chimiques

Les suivis morphologiques, effectués périodiquement, sont édités par lot, dans des tableaux saisonniers. PLANTEC peut effectuer la compilation statistique des données de terrain. Les paramètres morphologiques mesurés sont la hauteur, le diamètre au collet, les masses anhydres des tiges et des racines. La masse anhydre totale est soit entrée seule, soit calculée en additionnant celles des tiges et des racines, ainsi que celle du feuillage lorsque ce paramètre est mesuré. Le rapport masses anhydres tiges/racines (T/R), le rapport hauteur/diamètre

Tableau 1. Calendrier de fertilisations produit par PLANTEC pour une culture d'épinette noire 1+0 en récipients. Le détail des calculs est expliqué à la figure 3

	Masse	Tissus (%)				Substrat (%)		Besoins totaux			Produit		Doses appliquées		
Date	sèche (mg)	Concentration (ppm)	Contenu (mg/plant)	Besoin (mg/plant)	Utilisation (%)	Fertilité (ppm)	Besoin (mg/plant)	N (mg/plant)	P (mg/plant)	K (mg/plant)	(kg/ha)	Formule	N (mg/plant)	P (mg/plant)	K (mg/plant)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)	(p)
1997-06-01		28498			70,0		0,525	0,525	0,875	1,330	13,070	8-20-30	0,525	0,573	1,834
1997-06-08		28498			70,0	15	0,490	0,490	0,875	1,295	8,872	11-41-8	0,490	0,797	0,299
1997-06-15		28498		0,053	70,0	29	0,525	0,601	0,890	1,309	14,662	8-20-30	0,601	0,858	1,871
1997-06-22	2	26593	0,053	0,233	70,0	44	0,525	0,858	0,940	1,423	21,398	8-20-30	0,858	0,938	2,872
1997-06-29	11	26040	0,286	0,225	70,0	59	0,490	0,811	0,066	0,127	4,749	34-0-0	0,811		
1997-07-06	20	25590	0,511	0,193	70,0	73	0,525	0,800	0,088	0,112	4,887	34-0-0	0,800		
1997-07-13	28	25128	0,704	0,163	70,0	88	0,525	0,759	0,050	0,097	13,734	11-41-8	0,759	1,234	0,458
1997-07-20	35	24773	0,867	0,235	70,7	103	0,490	0,822	0,071	0,139	4,815	34-0-0	0,822		
1997-07-27	45	24484	1,102	0,306	74,5	117	0,525	0,934	0,092	0,178	5,472	34-0-0	0,934		
1997-08-03	58	24251	1,407	0,447	77,0	132	0,140	0,720	0,134	0,258	4,218	34-0-0	0,720		
1997-08-10	77	24088	1,853	0,659	78,5	136		0,839	0,196	0,378	4,916	34-0-0	0,839		
1997-08-17	105	23924	2,512	0,893	79,3	136	-0,070	1,056	0,265	0,509	6,183	34-0-0	1,056		
1997-08-24	143	23808	3,405	1,171	79,8	134	-0,070	1,398	0,348	0,665	13,922	20-8-20	1,398	0,344	1,181
1997-08-31	193	23710	4,576	1,471	80,0	132	-0,140	1,698	0,433	0,831	16,912	20-8-20	1,698	0,296	1,410
1997-09-07	256	23620	6,047	1,742	80,1	128	-0,175	1,999	0,511	0,982	11,712	34-0-0	1,999		
[redacted]															
1997-09-21				2,081	80,1		-0,280	2,318	0,610	1,175	30,783	15-0-15	2,318		1,925
1997-09-28	507	23334	11,830	2,107	80,1	105	-0,385	2,248	0,618	1,196	13,154	34-0-0	2,248		
1997-10-06	600	23229	13,937	1,952	80,1	97	-0,420	2,018	0,574	1,117	26,772	15-0-15	2,018		1,674
1997-10-12	687	23128	15,889	1,555	80,1	85	-0,490	1,462	0,458	0,901	14,467	20-8-20	1,462	0,253	1,206
1997-10-19	757	23044	17,444	0,884	80,0	71	-0,455	0,849	0,266	0,523	3,804	34-0-0	0,849		
1997-10-26	797	22998	18,328	0,072	80,0	58	-0,350	-0,190	0,012	0,051					
1997-11-02	800	23000	18,400		80,0	50									
Total				18,402			1,750	26,004	8,900	15,749			26,194	8,572	15,836

les doses et salinités permises par le standard, ainsi que de la période d'aoûtement.

Le tableau 1 présente les colonnes principales d'un calendrier de fertilisations produit par PLANTEC, pour la première des deux années de culture d'un lot d'épinette noire, produit dans un récipient à parois ajourées de 350 cm^3 (densité de 190 plants/m^2, efficacité d'arrosage de 95,4 %, densité de substrat de 0,10 g/cm^3). La figure 3 qui l'accompagne, illustre le détail des calculs pour la fertilisation du 14 septembre, avec une vue sur l'ensemble de la saison.

La préparation et le suivi des fertilisations

La fonction de prescription des fertilisations calcule les recettes pour la préparation des solutions fertilisantes de chaque application en fonction des doses, des superficies à traiter et des pulvérisateurs (LANGLOIS 1983). Les doses et la liste des lots à traiter peuvent être saisies manuellement ou automatiquement, grâce à une fonction faisant appel aux calendriers de fertilisations. Un tableau contenant la description et les paramètres des pulvérisateurs fournit le débit auquel la solution est appliquée. Ainsi, en fonction de chaque groupe de lots à traiter, PLANTEC peut calculer les quantités totales de fertilisants à diluer dans les volumes d'eau nécessaires, selon le type d'appareil utilisé (tracteurs, rampes mobiles, injecteurs,...). Une fois les applications effectuées, les doses appliquées sont reportées dans le suivi des fertilisations de chaque lot.

Les suivis de croissance et d'analyses chimiques

Les suivis morphologiques, effectués périodiquement, sont édités par lot, dans des tableaux saisonniers. PLANTEC peut effectuer la compilation statistique des données de terrain. Les paramètres morphologiques mesurés sont la hauteur, le diamètre au collet, les masses anhydres des tiges et des racines. La masse anhydre totale est soit entrée seule, soit calculée en additionnant celles des tiges et des racines, ainsi que celle du feuillage lorsque ce paramètre est mesuré. Le rapport masses anhydres tiges/racines (T/R), le rapport hauteur/diamètre

Tableau 1. Calendrier de fertilisations produit par PLANTEC pour une culture d'épinette noire 1+0 en récipients. Le détail des calculs est expliqué à la figure 3

	Masse	Tissus (N)				Substrat (N)		Besoins totaux			Produit		Doses appliquées		
Date	sèche (mg)	Concentration (ppm)	Contenu (mg plant)	Besoin (mg plant)	Utilisation (%)	Fertilité (ppm)	Besoin (mg plant)	N (mg plant)	P (mg plant)	K (mg plant)	kg/ha)	Formule	N (mg plant)	P (mg plant)	K (mg plant)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)	(p)
1997-06-01		28496			70.0		0.525	0.525	0.875	1.330	13.070	8-20-30	0.525	0.573	1.634
1997-06-08		28496			70.0	15	0.490	0.490	0.875	1.295	8.872	11-41-8	0.490	0.797	0.296
1997-06-15		28496		0.053	70.0	29	0.525	0.601	0.890	1.358	14.962	8-20-30	0.601	0.656	1.871
1997-06-22	2	26593	0.053	0.233	70.0	44	0.525	0.858	0.940	1.423	21.368	8-20-30	0.858	0.936	2.672
1997-06-29	11	26040	0.286	0.225	70.0	59	0.490	0.811	0.065	0.127	4.749	34-0-0	0.811		
1997-07-06	20	25550	0.511	0.193	70.0	73	0.525	0.800	0.058	0.112	4.687	34-0-0	0.800		
1997-07-13	28	25128	0.704	0.183	70.0	88	0.525	0.759	0.050	0.097	13.734	11-41-8	0.759	1.234	0.458
1997-07-20	35	24773	0.867	0.235	70.7	103	0.490	0.822	0.071	0.138	4.815	34-0-0	0.822		
1997-07-27	45	24484	1.102	0.305	74.5	117	0.525	0.934	0.092	0.178	5.472	34-0-0	0.934		
1997-08-03	58	24251	1.407	0.447	77.0	132	0.140	0.720	0.134	0.258	4.218	34-0-0	0.720		
1997-08-10	77	24068	1.853	0.659	78.5	136		0.839	0.196	0.378	4.916	34-0-0	0.839		
1997-08-17	105	23924	2.512	0.893	79.3	136	-0.070	1.056	0.265	0.509	6.183	34-0-0	1.056		
1997-08-24	143	23808	3.405	1.171	79.8	134	-0.070	1.398	0.346	0.665	13.922	20-8-20	1.398	0.244	1.161
1997-08-31	193	23710	4.576	1.471	80.0	132	-0.140	1.698	0.433	0.831	16.912	20-8-20	1.698	0.296	1.410
1997-09-07	256	23620	6.047	1.742	80.1	128	-0.175	1.999	0.511	0.982	11.712	34-0-0	1.999		
1997-09-14	**331**	**23530**	**7,786**	**1,981**	**80.1**	**123**	**-0,245**	**2,203**	**0,574**	**1,105**	**39,879**	**11-41-8**	**2,203**	**3,583**	**1,330**
1997-09-21	**418**	**23435**	**9,749**	2.081	80.1	**118**	-0.280	2.318	0.610	1.175	30.783	15-0-15	2.318		1.925
1997-09-28	507	23334	11.830	2.107	80.1	108	-0.385	2.246	0.618	1.196	13.154	34-0-0	2.246		
1997-10-05	600	23229	13.937	1.952	80.1	97	-0.420	2.016	0.574	1.117	26.772	15-0-15	2.016		1.674
1997-10-12	687	23128	15.889	1.555	80.1	85	-0.490	1.452	0.456	0.901	14.457	20-8-20	1.452	0.253	1.205
1997-10-19	757	23044	17.444	0.864	80.0	71	-0.455	0.649	0.255	0.523	3.804	34-0-0	0.649		
1997-10-26	797	22996	18.328	0.072	80.0	58	-0.280	-0.190	0.012	0.051					
1997-11-02	800	23000	18.400		80.0	50									
Total				18.402			1.750	25.004	8.900	15.749			25.196	9.172	15.636

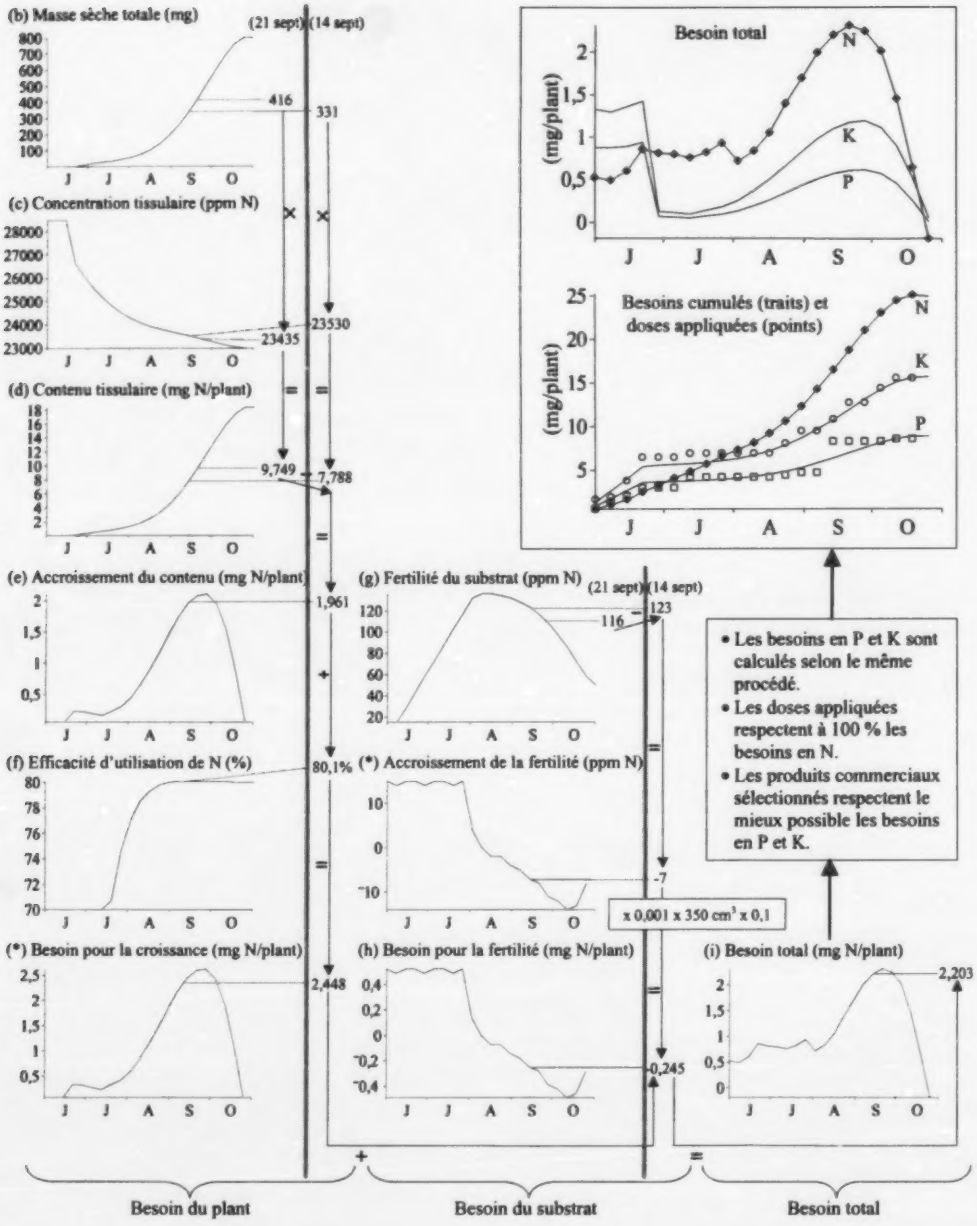

Figure 3. Calculs pour la fertilisation du 14 septembre qui donnent une vue d'ensemble de la progression saisonnière des paramètres. Les lettres qui identifient les graphiques correspondent à celles des colonnes du calendrier de fertilisations du tableau 1. Les graphiques marqués d'un astérisque (*) proviennent d'un calcul intermédiaire qui n'apparaît pas dans le calendrier. Les graphiques illustrés sont de même forme que ceux produits par PLANTEC.

(H/D) et l'indice volume (HD^2) sont aussi calculés lorsque cela est possible. Des mécanismes sont prévus pour prendre en compte les données ou paramètres manquants. PLANTEC peut aussi calculer des statistiques d'échantillonnage de base (histogrammes de fréquences, variances,...). Les moyennes et intervalles de confiance des paramètres mesurés sont automatiquement reportés dans le tableau saisonnier du suivi de croissance.

Les tableaux saisonniers du suivi des analyses sont élaborés à partir de la moyenne de sous-échantillons. Le calcul des contenus en minéraux utilise les masses anhydres du suivi de croissance. Pour les analyses de tissus, les parties du plant pouvant faire l'objet d'entrées sont : le feuillage, le plant entier, la tige et les racines.

La révision des calendriers

Pour réviser périodiquement les calendriers de fertilisations, les valeurs des suivis sont intégrées dans les calendriers. Ces valeurs sont comparées aux standards pour corriger les besoins, selon qu'il y ait surplus ou déficit de contenus en minéraux dans les substrats et les tissus. Le procédé de calcul du calendrier permet de pallier aux délais inévitables avant la réception des résultats d'analyses chimiques, puisque la dose appliquée juste après l'échantillonnage de suivi correspond rarement au besoin corrigé. Ainsi, lorsque les résultats d'analyses sont reçus et que les besoins corrigés sont enfin connus, les doses appliquées en plus ou en moins lors des fertilisations précédentes sont compensées lors de la fertilisation suivante. Par ailleurs, si la dose appliquée à la fertilisation précédente n'était pas celle recommandée, le calendrier peut être ajusté en regard du suivi des fertilisations.

Le bilan nutritionnel

Au terme de la saison de croissance, pour les lots ayant fait l'objet d'un suivi complet (masses anhydres totales, concentrations tissulaires, fertilités), PLANTEC compare les quantités de N, P et K appliquées à celles absorbées par le plant. Le pépiniériste obtient ainsi un portrait global de l'efficacité de ses fertilisations. Ces informations l'aident également à préciser les pourcentages d'utilisation indiqués dans ses standards.

Conclusion

Dans les pépinières gouvernementales du Québec, le personnel doit couramment gérer simultanément plus de 30 calendriers de fertilisations. Cela peut donc représenter une tâche ardue pour le pépiniériste soucieux de produire des plants qui répondent à des critères élevés de qualité tout en atténuant l'impact environnemental de ses actions sur la qualité du milieu hydrique.

Par rapport aux outils informatiques recensés (WENNY 1989, JARRELL 1989, VAN STEENIS 1997, HARRINGTON et GLASS 1998), PLANTEC semble de loin le plus complet car il prend en compte un plus grand nombre d'aspects de la fertilisation. Dans la mesure où l'approche nutritionnelle québécoise (LANGLOIS 1983, LANGLOIS et GAGNON 1993) convient au pépiniériste, PLANTEC représente un outil intéressant pour gérer les fertilisations et assurer le suivi des cultures.

Lorsqu'un logiciel prend en compte un plus grand nombre de facteurs, cela se fait souvent au détriment de la simplicité d'utilisation. La très grande majorité des usagers de PLANTEC ont toutefois rapidement appris à maîtriser le logiciel. Les avantages retirés sont supérieurs aux efforts consentis. PLANTEC répond donc à un besoin pour beaucoup de producteurs de plants forestiers. Il représente pour eux un outil de travail quotidien. Il facilite grandement une bonne gestion des fertilisations, de l'évaluation des besoins en minéraux jusqu'à l'application des fertilisants et la mesure des effets. Il fournit aussi d'indéniables avantages sur le plan du regroupement des données, de la précision des calculs et de la qualité des informations produites. La standardisation des données et de leur traitement permet aussi un échange rigoureux des informations entre les producteurs de plants forestiers et les chercheurs.

Remerciements

Les auteurs de PLANTEC tiennent à remercier M. Michel Rioux de la pépinière de Saint-Modeste (Fonds forestier, Forêt Québec, MRN) pour sa collaboration à la conception du système de prescription des fertilisations, ainsi que tout le personnel des pépinières publiques du Québec qui ont collaboré, par leurs suggestions, à l'amélioration du logiciel.

Les auteurs tiennent également à remercier MM. Claude Camiré, Benoît-Marie Gingras et Richard Gohier pour l'évaluation du contenu de ce texte. De même leurs remerciements s'adressent à M. Pierre Bélanger pour la révision et l'édition du document, ainsi qu'à Mme Sylvie Bourassa pour la mise en page.

Références

COCHRAN, W.G., 1967. *Sampling Techniques.* 2nd edition, John Wiley, New York. 154 p.

GIRARD, D. et C.-G. LANGLOIS, 1989. *SYSPAC : système de planification et d'analyse des cultures en pépinière.* Guide de recherche forestière n° 5, Ed. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts), Sainte-Foy, Québec. Publ. n° 5320-5. 230 p.

GIRARD, D., C.-G. LANGLOIS et J. GAGNON, 1995. *PLANTEC : un système informatisé pour gérer la croissance et la nutrition des plants produits dans les pépinières forestières.* Le Québec, un savoir-faire à partager, MRN, gouv. du Québec. Symposium *FAO* Québec 1995, Centre des congrès de Québec, Québec, 11-14 octobre.

HARRINGTON et GLASS. *MACRONUT : Calculation Software for Custom-mixed Nursery Fertilizers.* Hortechnology 8(1) : 78-81.

HARRINGTON et GLASS. *CONIFERS : A Computer Program for Liquid Fertilization in Container Nurseries.* Tree Planters' Notes 47(3) : 120-125.

JARREL W.M., 1989. *Modeling the Nursery.* American Nurseryman, 169(9) : 84-92.

LANGLOIS, C.-G., 1983. *Notes sur la fertilisation des plants cultivés en récipients.* Ed. gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts), Sainte-Foy, Québec., Publ. n° I-616. 52 p.

LANGLOIS, C.-G. et J. GAGNON, 1993. *A global approach to mineral nutrition based on the growth needs of seedlings produced in forest tree nurseries.* Dans : Plant Nutrition-from Genetic Engineering to Field Practice, Proceedings of the 12th International Plant Nutrition Colloquium, 21-26 September 1993. Perth, Western Australia. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays-Bas : 303-306.

SOKAL, R. et F.J. RHOLF, 1969. *Biometry, The Principles and Practices of Statistics in Biological Research.* W.H. Freeman and company, San Francisco. 776 p.

VAN STEENIS, E., 1997. *Nutrition and fertilization : PPM vs. Millimoles.* Symposium Proceedings : Forest Seedling Nutrition from the Nursery to Field 28-29 October 1997. Diane L Haase & Robin Rose Coordinators and Editors : 10-16.

WENNY, D.L., 1989. *Lotus 123 Template for Nutrient Calculation.* Tree Planters' Notes 40(2) : 5-7.

2001-3040

ISBN 2-550-37258-1
Dépôt légal 2001
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
© 2001 Gouvernement du Québec

Québec
Ministère des
Ressources naturelles